

# Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)

International application number: PCT/NO05/000096

International filing date: 18 March 2005 (18.03.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: NO  
Number: 20041208  
Filing date: 22 March 2004 (22.03.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 03 May 2005 (03.05.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse



KONGERIKET NORGE  
The Kingdom of Norway

Bekreftelse på patentsøknad nr  
*Certification of patent application no*

▽  
**2004 1208**

► Det bekreftes herved at vedheftede dokument er nøyaktig utskrift/kopi av ovennevnte søknad, som opprinnelig inngitt 2004.03.22

► *It is hereby certified that the annexed document is a true copy of the above-mentioned application, as originally filed on 2004.03.22*

According to document received on 2005.02.04 the application is assigned to Sway A/S

2005.03.23

*Line Reum*

Line Reum  
Saksbehandler



**PATENTSTYRET®**  
Styret for det industrielle rettsvern

51864201

2004-03-22

01

www.patentstyret.no



# Søknad om patent

Ferdig utfylt skjema sendes til adressen nedenfor. Vennligst ikke heft sammen sidene.  
Vi ber om at blankettene utfylles *maskinelt* eller ved bruk av *blokkbokstaver*. Skjema for  
utfylling på datamaskin kan lastes ned fra [www.patentstyret.no](http://www.patentstyret.no).

**Søker:** Den som søker om patent blir også innehaver av en eventuell rettighet. (Må fylles ut)  
Fornavn (fornavn hvis søker er person):

Eystein

Borgen

☐ Kryss av hvis søker tidligere har vært kunde hos Patentstyret.

Oppgi gjerne kundennummer:

Adresse:

Grasholmringen 24A

Postnummer:  
4085Poststed:  
HundvågLand:  
Norge

☐ Kryss av hvis flere søkere er angitt i medfølgende skjema eller på eget ark.  
☐ Kryss av hvis søker(ne) utfører 20 årsverk eller mindre (se veiledning):

**Kontaktinfo:** Hvem skal Patentstyret henvende seg til? Oppgi telefonnummer og eventuelt referanse.  
Fornavn (fornavn hvis kontaktperson er fullmektig eller søker):

Telefon:

92062063 eller 51864200

Referanse (maks. 30 tegn):

☐ For adresse til kontaktperson:

Postnummer:

Poststed:

Land:

**Fullmektig:** Hvis du ikke har oppnevnt en fullmektig, kan du gå til neste punkt.  
Fornavn (fornavn hvis fullmektig er person):

☐ Kryss av hvis fullmektig tidligere har vært kunde hos Patentstyret.

Oppgi gjerne kundennummer:

Adresse:

Postnummer:

Poststed:

Land:

**Oppfinner:** Oppfinneren skal alltid oppgis selv om oppfinner og søker er samme person.

Oppfinners fornavn:

Fornavn:

Eystein

Borgen

☒ Kryss av hvis oppfinner tidligere har vært kunde hos Patentstyret.

Oppgi gjerne kundennummer:

Adresse:

Grasholmringen 24A

Postnummer:  
4085Poststed:  
HundvågLand:  
Norge

☐ Kryss av hvis flere oppfinnere er angitt i medfølgende skjema eller på eget ark.

ADRESSE

Postboks 8160 Dep.  
Københavngaten 10  
0033 Oslo

TELEFON

22 38 73 00

TELEFAKS

22 38 73 01

BANKID

8276.01.00192  
ORGANISASJONSNR.  
871526157 MVA



**PATENTSTYRET**  
Styret for det industrielle rettsvern

SØKNAD 3.1 AS 2

FLERE SØKERE

FLERE OPPFINNERE

PRIORITETER

VEILEDNING

51864201

www.patentstyret.no



søknad om patent

**Tittel** Gi en kort benevnelse eller tittel for oppfinnelsen ikke over 256 tegn, inkludert mellomrom.

Tittel:

Fremgangsmåte for reduksjon av aksialkraftvariasjoner fra rotor samt retningskontroll for vindkraftverk med aktiv pitchregulering

SØKNAD nr. 2 2002

**PCT** Fylls bare ut hvis denne søknaden er en videreføring av en tidligere innlevert internasjonal søknad (PCT).

Inngivelsesdato (åååå.mm.dd)

Søknadsnummer:

PCT-søknads dato og nummer:

PCT

/

**Prioritetskrav** Hvis du ikke har søkt om denne oppfinnelsen tidligere (i et annet land eller i Norge), kan du gå videre til neste punkt.

Prioritet kreves på grunnlag av tidligere innlevert søknad i Norge eller utlandet:

Inngivelsesdato (åååå.mm.dd)

Landkode:

Søknadsnummer:

Opplysninger om tidligere søknad. Ved flere krav skal tidligste prioritet angis her:

☐ Flere prioritetskrav er angitt i medfølgende skjema, eller på eget ark.

**Biologisk materiale** Fylls bare ut hvis oppfinnelsen omfatter biologisk materiale.

Søknaden omfatter biologisk materiale. Deponeringssted og nummer må oppgis:

☐ Prove av materiale skal bare utleveres til en særlig sikkerhet.

**Avdelt/utskilt** Hvis du ikke har søkt om patent i Norge tidligere, kan du gå videre til neste punkt.

Søknaden er avdelt eller utskilt fra tidligere levert søknad i Norge:

☐ Avdelt søknad

Dato (åååå.mm.dd)

Søknadsnummer:

☐ Utskilt søknad

Informasjon om oppfinnelse  
søknad/innsendt tilleggsmateriale

**Annet**

☒ Søknaden er også levert per telefaks.

Oppgi dato (åååå.mm.dd)

2004.03.22

☐ Jeg har fått utført forundersøkelse.

Oppgi nr (årstall - nummer - bokstav):

**Vedlegg** Angi hvilken dokumentasjon av oppfinnelsen du legger ved, samt andre vedlegg.

☒ Tegninger

Oppgi antall tegninger.

3

☒ Reaktivelse av oppfinnelsen

☒ Patentkrav

☐ Fullmaktsdokument(er)

☒ Sammenheng på norsk

☐ Overdragelsesdokument(er)

☐ Dokumentasjon av eventuelle prioritetskrav (prioritetsbevis)

☐ Erklæring om retten til oppfinnelsen

☐ Oversettelse av internasjonal søknad (kun hvis PCT-felt over er fylt ut)

☐ Annet:

**Dato/underskrift** Sjekk at du har fylt ut punktene under: Søker, Oppfinner og Vedlegg. Signer søknaden.

Sted og dato (for fullmakstaver)

Stavanger 22. mars 2004

Navn i blockbokstaver

EYSTEIN BORGES

NB! Søknadsavgiften vil bli fakturert for alle søknader (dvs. at søknadsavgiften ikke skal følge søknaden).  
Betalingsfrist er ca. 1 måned, se faktura.

Signatur:



**PATENTSTYRET**  
Styret for det industrielle rettvern

2004 -03- 2 2

1

## **Fremgangsmåte for reduksjon av aksialkraftvariasjoner fra rotor samt retningskontroll for vindkraftverk med aktiv pitchregulering**

Denne oppfinnelsen vedrører fremgangsmåte for å regulere rotorbladenes vinkel om sin egen lengdeakse på et vindkraftverk på en slik måte at rotorens skyvekraft på tårnet kontrolleres og holdes innenfor ønskede størrelser uten at den gjennomsnittlige effekt av vindkraftverket påvirkes nevneverdig. Dette har den fordel at lastvariasjonene på rotorblad og tårn blir redusert slik at utmatning av disse utsatte komponentene blir vesentlig redusert.

I denne patentsøknad er følgende definisjoner benyttet:

- 1) Momentant vindhastighet er definert som den momentane vindhastighet som måles i øyeblikket.
- 2) Gjennomsnittlig eller jevnet vindhastighet er definert som gjennomsnittet eller tilnærmet gjennomsnittet av den momentane vindhastighet for en viss periode. Denne periode vil typisk være lengre enn 3 sekunder og normalt være i størrelsesorden 10 minutter til 1 time, men den kan også være lengre. Når vindhastigheten brukes til å styre vindturbinen vil og skalering eller fraksjoner av slike målte verdier gå inn under denne definisjonen.
- 3) Pitch vinkel er i denne patentsøknad definert som et rotorblad's stivlegemevridning omkring sin egen lengdeakse i forhold til en fast utgangsposisjon for denne vinkelen. Ved å "pitche" bladene kan kreftene på rotoren for en gitt momentan vindhastighet varieres.
- 4) Rotor aksialkraft er definert som den skyvekraft som blir overført fra rotor mot møllehus og som er rettet hovedsakelig langs rotoraksen's omdreiningssakse. Denne kraft kan både være positiv og negativ i forskjellige tidspunkt under vindkraftsverkets drift.
- 5) Nominell vindhastighet er definert som den vindhastighet hvor vindkraftanlegget først oppnår full effekt. Dette kan typisk være i området 12-14m/s.

Det er ønskelig å kunne plassere kommersielle store horisontalakslede vindturbiner på fundamenter på dypt vann. Dette er ønskelig for å kunne øke potensielle arealer for vindkraftutnyttelse, få tilkomst til områder med høye gjennomsnittlige vindhastigheter og for å kunne bygge vindparker i nærheten av olje og gassinstallasjoner for å kunne elektrifisere disse via vindkraft.

På dypt vann vil en flytende konstruksjon være fordelaktig for å begrense størrelse og kostnader på tårn og fundamenter.

En slik flytende konstruksjon vil primært bli påvirket av to typer krefter som vil styre bevegelsesmønsteret og påkjenninger til den flytende konstruksjonen. Dette er bølgekrefter mot den flytende del av konstruksjonen og skyvekraft på rotoren fra vinden, her kalt rotorens aksialkraft.

For et vindkraftverk på land eller på grunt vann som er fast innspent mot bakken eller sjøbunn vil de dominerende krefter som virker på konstruksjonen vanligvis være skyvekraft på rotoren fra vinden i tillegg til gravitasjonskrefter.

For store vindkraftanlegg (med effekter på typisk 1 MW eller høyere) er det idag to hovedtyper av reguleringsmekanismer som benyttes for å kontrollere at rotoren gir en

konstant effekt, lik anleggets nominelle effekt, for vindhastigheter som er høyere enn det som er nødvendig for å oppnå full effekt (nominell effekt).

Den ene metoden er stall regulering av rotorbladene. Denne metoden dreier bladene inn i vinden slik at den relative vindens angrepsvinkel mot vingeprofilet økes og rotorbladene oppnår stall. Dvs vingen mister gradvis sin løftkraft ved at strømingene over rotorbladet går fra å være laminær til å bli turbulent. Dermed frigjøres den overskytende energi.

Den annen reguleringsmetode er pitchregulering av bladene ved at bladene dreies motsatt vei iforhold til stall regulering slik at vinden slippes ut ved å minske den relative vindens angrepsvinkel mot vingeprofilet. Dermed minskes rotorbladets løftkraft og mindre energi blir tatt ut av vinden. Denne oppfinnelsen vedrører denne siste reguleringsmetoden som her er kalt pitchregulering.

For store rotordiametere kan en risikere at vindhastigheten kan ha store variasjoner over rotorarealet både vertikalt og horisontalt. Dette kan forårsake større utmatningsproblemer av bladene enn for mindre anlegg hvis ikke bladenes individuelle skyvekraft i vindretningen kontrolleres og reguleres hensiktsmessig. Det kan og føre til store momenter som prøver å dreie rotoren ut av vinden hvis vindhastigheten i et gitt tidspunkt er vesentlig større på rotorens ene halvdel (om den vertikale akse) enn den motsatte.

Ved kjent teknologi med pitchregulering som beskrevet over vil rotorens turtall for vindhastigheter over den nominelle vindhastighet reguleres slik at rotorens effekt som er lik rotorens dreiemoment multiplisert med vinkelhastigheten (omdreiningshastigheten i radianer) holdes mest mulig konstant lik den nominelle effekt av vindkraftanlegget. For å klare dette styrer en kontrollenhet rotorbladene's pitch vinkel kontinuerlig. Effekt og rotor aksial kraft er ikke lineære størrelser som funksjon av variasjon av vindhastigheten. Når vindhastigheten endres og effekten fra rotoren holdes konstant ved å pitche rotorbladene så vil rotor aksialkraft samtidig endres. Rotorens aksialkraft (skyvekraft i vindretningen) kan på denne måten få store variasjoner. Disse kraftvariasjonene forårsaker store utmatningslaster på blad og tårnstruktur hvilket i mange tilfeller kan bli dimensjonerende for disse konstruksjonselementene.

For å illustrere dette kan en se på virkningen av pitchreguleringen med kjent teknikk: Hvis momentanvindhastigheten økes fra den nominelle vindhastighet (f.eks 13 m/s) til det dobbelte (26 m/s) samtidig med at effekten og rotorens rotasjonshastighet holdes konstant vil bladets pitchendring bli ca 20 grader for å hindre at rotorens effekt øker ved den høyere vindhastighet. Resultatet av denne pitchendringen av bladene er at rotorens aksialkraft (skyvekraft i vindretningen) samtidig omtrentlig halveres, hvilket forårsaker en utmatningsbelastning på blad og tårnstruktur.

For et værtilfelle med f.eks en 10 minutters middelvindhastighet på 19 m/s vil slike svingninger i vindhastigheten typisk oppstå med dertil store variasjoner i bladenes og rotorens samlede aksialkraft hvis effekten skal holdes konstant. Lignende svingninger i aksialkraften vil oppstå for alle gjennomsnittlige vindhastigheter over den nominelle vindhastighet i større eller mindre grad hvis man benytter seg av pitchregulering etter kjent teknikk.

Det vil alltid være en viss forsinkelse mellom det aerodynamiske momentane dreiemoment på rotor og generatorens dreiemoment. Dette skyldes hovedsakelig treghetskrefter av rotor, drivverk og generator. Siden pitchregulering etter kjent teknikk

benytter seg av målte verdier av rotasjonshastigheter eller generatøreffekt vil pitchreguleringen være unøyaktig og forsinket i forhold til momentankreftene som virker på rotoren, deriblant rotorens momentane aksialkraft. Dette fører til at for brå reduksjoner i den momentane vindhastigheten vil rotorbladene ha en for stor bladpitchvinkel og rotorens aksialkraft kan bli drastisk redusert eller til og med negativ. For eksempelet over ville for en plutselig reduksjon av vindhastigheten fra 26 m/s til 13 m/s og hvis pitchreguleringen ikke ble endret raskt nok kunne føre til en reduksjon av rotorens momentane aerodynamiske aksialkraft fra 50% av den nominelle aksialkraft til ved 26 m/s vind til - 30% av den nominelle aksialkraft ved 13 m/s vind, dvs i motsatt retning av vinden. Tilsammen utgjør dette en endring på 80% av den nominelle rotoraksialkraft. Slike store svigninger i aksialkraften pga av den forsinkede pitchstyringen vil spesielt være et problem for de høyere gjennomsnittlige vindhastigheter.

Dette vil og føre til at rotorblader dimensjonert for en lav årlig gjennomsnittlig vindhastighet ikke vil kunne brukes for en lokasjon med høy årlig gjennomsnittlig vindhastighet. Pga av de økte utmatningsbelastninger som oppstår pga av de større variasjonene i bladens skyvekraft i vindretningen, så må rotorblader for områder med høye gjennomsnittlige vindhastigheter dimensjoneres kraftigere. Dette kan bety dyrere og tyngre blader. Det faktum at en lokasjon med høy gjennomsnittlig vindhastighet vil ha flere driftstimer vil dog også øke kravet til rotorbladens utmatningstyrke.

For et flytende vindkraftanlegg kan den ovenfor beskrevne effekten av at økt vindhastighet minsker rotorens aksialkraft pga pitchreguleringen (for vindhastigheter over den nominelle vindhastighet) også ha negative effekter på vindkraftsverkets bevegelsmønstre. Når tårnet og rotor beveger seg mot vinden vil den relative vindhastigheten mot rotoren øke, noe som vil føre til en redusert rotor skyvekraft pga av pitchreguleringen prøver å opprettholde konstant effekt hvilket igjen vil øke tårnets bevegelse mot vinden. Motsatt vil, når tårn og rotor beveger seg tilbake i samme retning som vinden, den relative vindhastighet mot rotoren minke og bladene vil med kjent teknikk automatisk pitches (vris) for å opprettholde nominell effekt inn på generatoren. Dette fører igjen til øket rotorskyvekraft hvilket igjen vil øke tårnets bevegelse i retning med vinden. Resultatet av dette er en ekstra eksitering og forsterkning av tårnets bevegelser hvis pitchregulering med den kjente teknikk benyttes. Dette har vist seg å føre til store økninger i utmatningslastene for flytende vindkrafttårn.

Oppfinnelsen har som mål å avhjelpe ulempene ved kjent teknikk.

I den forestående beskrevne fremgangsmåte er ulemper med kjent teknikk forbedret eller eliminert.

#### Fremgangsmåte:

En eller flere vindmålere er plassert på gunstige lokasjon(er) på vindkraftverket slik at den romlige fordelingen av vindhastigheten kan registreres og interpolasjoner mellom de forskjellige vindmålerne kan gjøres for å danne et bilde av vindens fordeling over rotorens omsveipningsareal. Dette kan gjøres ved å plassere vindmålere i vesentlig forskjellig høyde og vesentlig forskjellig horisontal posisjon. Denne romlige fordelingen av den momentane vindhastighet kan så brukes til å individuelt regulere rotorbladens pitch, eventuelt kan alle bladene pitchreguleres samlet.

Rotoren kan fordelaktig plasseres nedvinds i forhold til tårnet slik at vindmålerne registrerer vindens hastighet før den treffer rotoren. På denne måten kan bladenes optimale pitch vinkel forhåndsberegnes slik at det oppstår lite eller ingen forsinkelser mellom aerodynamiske krefter og rotorbladenes pitch respons. Dermed kan brå forandringer av den momentane vindhastighet predikeres. Ved hjelp av den horisontale avstanden mellom de oppvinds monterte vindmålerne og rotorens vertikalplan og vindhastigheten kan tidsforsinkelsen beregnes fra målingene blir gjort til den aktuelle vindhastighet vil opptre i rotoren. Kontrollerenheten som styrer pitchreguleringen gis tilgang til alle disse målingene og kan til enhver tid bruke denne informasjonen til å optimalisere bladenes pitch vinkler. Slik kan spesielt de store rotor aksialkraft reduksjonene unngås som opptrer ved plutselige momentane reduksjoner i den momentane vindhastigheten fordi at pitchreguleringen for kjent teknikk ikke foregår raskt nok.

For momentanvindhastigheter over vindkraftverkets nominelle vindhastighet vil i utgangspunktet bladene vris slik at den aksielle kraft på rotoren blir redusert. Dette motvirkes ved å øke rotasjonshastigheten på rotoren vha redusert eller ingen pitch respons mens generatorens dreiemoment eventuelt samtidig blir redusert etter input fra kontroll enheten som også vil være med å øke rotorens rotasjonshastighet. Både rotorens aksialkraft og effekten på generatoren kan da holdes tilnærmet konstant ved optimal pitchvinkel innenfor en mindre vindhastighetsøkning. Ved ca 10% vindøkning må rotasjonshastigheten etter denne metode økes med ca 10% for å oppnå uendret både rotoraksialkraft og effekt inn på generator. Pitch vinkelen må samtidig endres. Tilsvarende metode brukes ved minking av momentanvindhastighet, men i dette tilfelle reduseres rotorens rotasjonshastighet mens generatorens dreiemoment eventuelt samtidig økes etter input fra kontroll enheten.

For større endringer av vindens momentan hastighet gjøres følgende:  
Ved reduksjon av den momentane vindhastigheten i forhold til den gjennomsnittlige vindhastighet målt over en lengre periode enn oppdateringsfrekvensen til pitchreguleringen, f.eks over en 10 minutters periode, så endres bladenes pitchvinkel mindre enn ved ren effektstyrt pitchregulering. Dette har som resultat at rotorens aksialkraft forblir uendret men at effekten inn på generator blir noe mindre enn den nominelle effekt. 10% reduksjon av vindhastighet gir ca 10% reduksjon av effekten mens rotorens aksialkraft forblir uendret.

Tilsvarende vil en for en økning på 10% av vindhastigheten endre pitchvinkelen på bladene mindre enn ved ren effektstyrt pitchregulering. Dette har som resultat at rotorens aksialkraft forblir uendret men at effekten inn på generator blir noe større enn den nominelle effekt. 10% økning av den momentane vindhastighet gir ca 10% økning av effekten mens rotorens aksialkraft forblir uendret. Ved å kombinere de to effektene som beskrevet over vil de samlet resultere i at den momentane vindhastigheten kan variere med typisk +/- 20% uten at rotorens aksialkraft varierer. Siden de tilhørende generatoreffektvariasjonene vil være kortvarige og fluktuere rundt merkeeffekten på generatoren så vil den gjennomsnittlige generator effekten være tilnærmet uendret, dvs lik den nominelle effekt (merkeeffekt), samtidig som aksialkraften for en gitt gjennomsnittlig vindhastighet kan holdes konstant eller tilnærmet konstant innenfor typisk +/- 20% variasjon av den momentane vindhastighet.



For en gitt gjennomsnittlig vindhastighet kan rotorens aksialkraft (mål-verdi) beregnes som korresponderer med den nominelle effekt på generatoren. Akseptable maksimum og minimumsverdier for generatorens effektvariasjoner rundt en middelvei kan forhåndsprogrammeres og pitchkontrollerenheten vil så beregne optimale momentane pitchvinkler slik at rotorens aksialkraft holdes mest mulig konstant rundt den nevnte beregnede mål-verdi samtidig som generator effekten holdes innenfor den forhåndsprogrammerte båndbredde.

Den beregnede mål-verdi for rotorens aksialkraft vil derfor variere med forskjellige gjennomsnittlige vindhastigheter. Innenfor hver gjennomsnittlige vindhastighet vil da aksialkraften vha pitchreguleringen bli forsøkt å holdes tilnærmet konstant. Den gjennomsnittlige vindhastighet kan f.eks være siste 10 minutters middel. Det kan eventuelt benyttes forhåndsberregnede verdier for aksialkraftens mål-verdier for gitte gjennomsnittlige vindhastighetsintervall, f.eks delt inn i intervaller med 0,1 m/s forskjeller.

For momentanvindhastighetsvariasjoner utover ca +/- 20% så kan pitchreguleringen foretas med prioritet på ikke å variere generator effekten utover de typisk ca +/- 10% som beskrevet over. Ved slike større variasjoner av momentanvindhastigheten vil rotorens aksialkraft begynne å variere, men denne variasjonen vil også i disse tilfellene være vesentlig mindre enn for pitchregulering etter kjent teknikk.

Siden en gjennomsnittsverdi av vindhastigheten over et lengre tidsrom, f.eks 10 minutters middel, varierer mye mindre enn momentan vindhastighetsvariasjonene vil den beskrevne metode sørge for at rotor aksialkraftvariasjonene blir vesentlig redusert med sin positive effekt på utmatningslastene på tårn og rotor.

Den samme metode som beskrevet over kan også brukes til aktivt å regulere rotorens aksialkraft iforhold til en gitt middelvei. Hvis rotorens aksialkraft på denne måten aktivt styres med varierende verdi så kan dette brukes til f.eks å påføre tårnet krefter i motfase med dets bevegelser slik at tårnets bevegelser blir dempet.

Tårnets bevegelser kan f.eks registreres med et aksellerometer.

Videre kan en på tilsvarende måte bruke aksialkraften aktivt til å motvirke eventuelle krefter som prøver å dreie rotoren ut av vinden. Dette kan gjøres ved at rotorbladenes individuelle kraft i vindretningen blir styrt slik at eventuelle drejemomenter som prøver å vri rotor og/eller nacell og/eller tårn ut av vinden blir motvirket, redusert eller eliminert ved å syklisk endre bladenes individuelle pitch vinkel avhengig av fysisk posisjon av hvert enkelt blad til enhver tid slik at den aksielle kraften på rotoren blir større på den ene eller andre siden av rotorens vertikale akse etter behov. Når et gitt rotorblad passerer den ene siden av tårnets vertikale akse økes f.eks pitch vinkelen med 0,5 grader og når det samme bladet passere motsatt side så minskes pitchvinkelen tilsvarende. Dette trenger derfor ikke å få innvirkning på rotorens samlede effekt eller rotorens samlede aksialkraft. Denne ekstra sykliske pitchvariasjonen overlappes bare på den beregnede pitchvinkel i henhold til den ovenfor beskrevne fremgangsmåte for å kontrollere rotorens samlede aksialkraft. Denne beskrevne sykliske pitchreguleringen kan og brukes for aktivt å styre rotoren slik at deler av, eller eventuelt hele vindkraftverket i tilfelle et flytende anlegg, kan holdes i ønsket posisjon i forhold til vindretningen. Dermed kan man eliminere eller redusere størrelse eller antall av motorene som etter kjent teknikk dreier møllhuset, eller

eventuelt hele tårnet i det tilfelle møllehuset er dreiefast montert på tårnet for et flytende anlegg, i ønsket posisjon i forhold til vinden.

Videre kan skyvekraftvariasjonene i vindretningen på hvert enkelt blad reduseres ved å endre pitchvinkel i henhold til den ovenfor beskrevne fremgangsmåte for å kontrollere bladets momentane skyvekraft i vindretningen. Bladet kan da styres individuelt i forhold til posisjon i sin omløpsbane og målte verdier av vindhastighetene i forskjellige posisjoner i eller rundt rotorens omsveipningsareal.

Den målte aksial kraft vil bli registrert og tatt med i pitch kontrollerenheten for beregning av optimal pitch vinkel til enhver tid i henhold til den beskrevne fremgangsmåte..

Istedenfor å bare benytte målt vindhastighet og pitch vinkel for å beregne rotorens aksial kraft kan en eller flere andre direkte eller indirekte metoder benyttes.

Ved at bladene monteres bakoverlent i pitchlageret, dvs bladenes lengdeakse avviker noe fra pitchlagerets akslingsakse slik at bladenes lengdeakse ikke krysser rotorens rotasjonsakse og pitchmomentet som da oppstår kan måles via hydraulisk trykk via bladenes pitch control system og aksialkraften kan så beregnes eller;

Ved å benytte strekklapper på bladene og/eller på rotorens hovedaksling og/eller på andre deler av vindkraftverket eller;

Indirekte ved å måle blad(enes) pitch vinkler og rotorens dreiemoment direkte eller ved å registrere andre parametre som generatorens dreiemoment, effekt etc og deretter kan rotorens korresponderende aksialkraft beregnes.

Ved å måle utbøyning av bladene ved hjelp av mekanisk eller elektronisk målesystem.

#### Eksempel på foretrukket fremgangsmåte.

I det etterfølgende beskrives et ikke-begrenset eksempel på en foretrukket fremgangsmåte som er anskueliggjort på medfølgende tegninger, hvor:

Fig. 1 viser et flytende vindkraftverk 1 med rotor 2 som har horisontal eller i hovedsak horisontal montert rotorakse 11 nedvinds montert i forhold til tårn 4, videre vises møllehus 3, vindmålere 5, ankerforbindelse 6 og anker 7.

Fig. 2 viser et vindkraftverk 1 som er plassert på land eller på grunt vann med rotor 2 som har horisontal eller i hovedsak horisontal montert rotorakse 11 oppvinds montert i forhold til tårn 4, videre vises møllehus 3 og vindmålere 5,

Fig. 3 viser et vindkraftverk 1 som er plassert enten på land eller på grunt vann eller flytende i vann med rotorblader 13 som er dreibart montert om sin lengdeakse eller hovedsaklig om sin lengdeakse 14 med pitch lagere 10.

Et vindkraftverk 1 med horisontal eller vesentlig horisontal rotorakse 11 består av ett eller flere rotorblad 1) som tilsammen danner en rotor 2 hvor rotorbladene ko-ordinert eller individuelt kan dreies (pitches) rundt sin egen lengde akse eller vesentlig rundt sin egen lengdeakse 14 for hovedsakelig å styre rotorens 2 effekt inn på generatoren (ikke vist) og hvor rotorens aksling er holdt fast i et møllehus 3 og rotorens aksling er forbundet med en generatoren eventuelt via et utvekslingssystem (gear). Rotorbladenes pitch regulering foretas av en pitch kontroll enhet som på bakgrunn av forskjellig registrert driftsinformasjon, vindmålinger etc sender signal til pitchmotorene om hvor mye bladenes pitchvinkler til en hver tid skal endres.

Møllehuset kan være montert på et tårn 4 som er fast montert på land 9 eller på sjøbunn 8 eller som er en del av en flytende innretning eller som selv utgjør en flytende innretning med eventuelt en eller flere ankerforbindelse(r) 6 til forankring 7 på sjøbunn 8. Utforming av ankersystemet 6,7 er ikke vesentlig for den beskrevne fremgangsmåte.

Den nedenfor beskrevne fremgangsmåte har som mål å redusere variasjonene av rotorens aksialkraft i forhold til kjent teknikk samtidig som den resulterende effekt inn på generatoren ikke blir vesentlig påvirket eller blir holdt innenfor akseptable grenser i forhold til begrensninger på drivverk, generator og elektrisk nett. Fremgangsmåten har også som mål å bruke rotorens aksialkraft til aktivt å motvirke et flytende vindkraftverk's bevegelser. Videre har den beskrevne fremgangsmåte som mål å kontrollere og motvirke rotasjonskrefter om tårnets vertikalkakse 12 og å redusere den aerodynamiske kraftvariasjonen på hvert enkelt blad gjennom en hel rotasjonssyklus som følge av ulike vindhastigheter i ulik høyde (vertikalt vindskjær) og i horisontal retningen parallelt med rotor planet (horisontalt vindskjær).

En eller flere vindmålere(c) 5 er plassert på gunstige lokasjon(er) på vindkraftverket 1 slik at den romlige fordelingen av vindhastigheten fordelaktig kan registreres og interpolasjoner mellom de forskjellige vindmålerne kan gjøres for å danne et bilde av vindens fordeling over rotorens omsvepningsareal. Dette kan gjøres ved å plassere vindmålere i vesentlig forskjellig høyde og vesentlig forskjellig horisontal posisjon. Denne romlige fordelingen av den momentane vindhastighet kan så brukes til å individuelt regulere rotorbladenes pitch, eventuelt kan alle bladene pitchreguleres samlet.

Rotoren 2 kan fordelaktig plasseres nedvinds i forhold til tårnet 4 slik at vindmålerne registrerer vindens hastighet før den treffer rotoren. På denne måten kan bladenes optimale pitch vinkel forhåndsregnes slik at det oppstår lite eller ingen forsinkelser mellom aerodynamiske krefter og rotorbladenes pitch respons. Dermed kan brå forandringer av den momentane vindhastighet predikeres. Ved hjelp av den horisontale avstanden mellom de oppvinds monterte vindmålerne og rotorens vertikalkasse og vindhastigheten kan tidsforsinkelsen regnes fra målingene blir gjort til effekten av den aktuelle målte vindhastighet vil opptre i rotoren. Kontrollerenheten (ikke vist) som styrer pitchreguleringen gis tilgang til alle disse målingene og kan til enhver tid bruke denne informasjonen til å optimalisere bladenes 13 pitch vinkler. Slik kan spesielt de store rotor aksialkraft reduksjonene unngås som opptrer ved plutselige momentane reduksjoner i den momentane vindhastigheten fordi at pitchreguleringen for kjent teknikk har en tidsforsinkelse.

I de tilfeller der gjennomsnittshastigheten ligger over den nominelle vindhastighet for vindkraftverket 1 og momentanvindhastigheten så øker utover den gitte gjennomsnittsvindhastigheten vil rotasjonshastigheten på rotoren 2 etter denne fremgangsmåte økes vha redusert pitch respons i forhold til kjent teknikk mens generatorens dreiemoment eventuelt samtidig blir redusert etter input fra kontroll enheten, noe som også vil være med å øke rotorens 2 rotasjonshastighet. Siden rotor aksialkraft generelt økes med øket turtall for en gitt rotoreffekt kan den reduserte rotoraksial kraft som resultat av bladenes pitch dreining pga av den økte momentanvindhastighet kompenseres. Resultatet blir at innenfor en mindre vindhastighetsøkning kan både rotorens aksialkraft og effekten på generatoren holdes tilnærmet konstant ved å øke rotorens rotasjonshastighet og med optimal pitchvinkel. Ved ca 10% vindøkning må rotasjonshastigheten etter denne metode økes med ca 10% for å oppnå uendret både rotoraksialkraft og effekt inn på generator. Pitch vinkelen må samtidig endres. Tilsvarende fremgangsmåte brukes ved minking av momentanvindhastighet, men i dette tilfelle reduseres rotorens rotasjonshastighet mens generatorens dreiemoment eventuelt samtidig økes etter input fra kontroll enheten.

For større endringer av vindens momentanhastighet gjøres følgende:  
Ved reduksjon av den momentane vindhastigheten i forhold til den gjennomsnittlige vindhastighet målt over en lengre periode enn oppdateringsfrekvensen til pitchreguleringen, f.eks over en 10 minutters periode, så endres bladenes pitchvinkel mindre enn ved ren effektstyrt pitchregulering. Dette har som resultat at rotorens aksialkraft forblir uendret men at effekten inn på generator blir noe mindre enn den nominelle effekten. 10% reduksjon av vindhastighet gir ca 10% reduksjon av effekten mens rotorens aksialkraft forblir uendret.

Tilsvarende vil en for en økning på 10% av momentanvindhastigheten endre pitchvinkelen på bladene mindre enn ved ren effektstyrt pitchregulering. Dette har som resultat at rotorens aksialkraft forblir uendret men at effekten inn på generator blir noe større enn den nominelle effekten. 10% økning av den momentane vindhastighet gir ca 10% økning av effekten mens rotorens aksialkraft forblir uendret. Ved å kombinere de to effektene som beskrevet over vil de samlet resultere i at den momentane vindhastigheten kan variere med typisk +/- 20% uten at rotorens aksialkraft varierer. Siden de tilhørende generator effektvariasjonene vil være kortvarige og fluktuerte rundt den nominelle effekten av vindkraftverket eller merkeeffekten på generatoren så vil den gjennomsnittlige generator effekten være tilnærmet uendret, dvs lik den nominelle effekten (merkeeffekt), samtidig som aksialkraften for en gitt gjennomsnittlig vindhastighet kan holdes konstant eller tilnærmet konstant innenfor typisk +/- 20% variasjon av den momentane vindhastighet.

For en gitt gjennomsnittlig vindhastighet og rotor rotasjonshastighet kan rotorens aksialkraft (mål-verdi) som korresponderer med den nominelle effekt på generatoren beregnes. Akseptable maksimum og minimumsverdier for generatorens effektvariasjoner rundt en middelverdi kan forhåndsprogrammeres og pitchkontrollerenheten vil så herregne optimale momentane pitchvinkler (som respons på momentanvindhastigheten) slik at rotor aksialkraft holdes mest mulig konstant rundt den nevnte beregnede mål-verdi samtidig som generator effekten holdes innenfor den forhåndsprogrammerede båndbredde.

Den beregnede mål-verdi for rotor aksialkraft vil variere med forskjellige gjennomsnittlige vindhastigheter. Innenfor hver gjennomsnittlige vindhastighet vil da aksialkraften vha

pitchreguleringen bli forsøkt å holdes tilnærmet konstant rundt denne mål-verdi. Den gjennomsnittlige vindhastighet kan f.eks være siste 10 minutters middel. Det kan eventuelt benyttes forhåndsberegnete verdier for aksialkraftens mål-verdier for gitte gjennomsnittlige vindhastighetsintervall, f.eks delt inn i intervaller med 0,1 m/s forskjeller.

For momentanvindhastighetsvariasjoner utover de ca +/- 20% som beskrevet over kan pitchreguleringen foretas med prioritet på ikke å variere generator effekten utover den typiske ca +/- 10% båndbredde som beskrevet. Ved slike større variasjoner av momentanvindhastigheten vil rotorens aksialkraft begynne å variere, men denne variasjonen vil også i disse tilfellene være vesentlig mindre enn for pitchregulering etter kjent teknikk.

Siden en gjennomsnittsverdi av vindhastigheten over et lengre tidsrom, f.eks 10 minutters middel, varierer mye mindre over tid enn momentan vindhastighetsvariasjonene vil den beskrevne fremgangsmåte sørge for at rotor aksialkraftvariasjonene blir vesentlig redusert med sin positive effekt på utmatningslastene på tårn og rotor.

Den samme fremgangsmåte som beskrevet over kan også brukes til aktivt å regulere rotorens aksialkraft rundt en gitt middelverdi. Hvis rotorens aksialkraft på denne måten aktivt styres med varierende verdi så kan dette brukes til f.eks å påføre tårnet 1 krefter i motfase med dets bevegelser slik at tårnets bevegelser blir dempet. Dette er særlig fordelaktig for flytende vindkraftanlegg.

Kontrollenheten vil i dette tilfelle også få tilgang til tårnets bevegelser. Tårnets bevegelser kan registreres med et aksellerometer eller annen egnet målemetode.

Videre kan en på tilsvarende måte bruke aksialkraften aktivt til å motvirke eventuelle krefter som prøver å dreie rotoren ut av vinden. Dette kan gjøres ved at rotorbladenes individuelle kraft i vindretningen blir styrt slik at eventuelle dreiemomenter som prøver å vri rotor og/eller møllehus og/eller tårn ut av vinden blir motvirket, redusert eller eliminert ved å syklisk endre bladenes individuelle pitch vinkel avhengig av fysisk posisjon av hvert enkelt blad til enhver tid slik at den aksielle kraften på rotoren blir større på den ene eller andre siden av rotorens vertikale akse etter behov. Når et gitt rotorblad passerer den ene siden av tårnets vertikale akse økes f.eks pitch vinkelen med 0,5 grader og når det samme bladet passere motsatt side så minskes pitchvinkelen tilsvarende. Dette trenger derfor ikke å få innvirkning på rotorens samlede effekt eller rotorens samlede aksialkraft. Denne ekstra sykliske pitchvariasjonen overlages på den beregnede pitchvinkel i henhold til den ovenfor beskrevne fremgangsmåte for å kontrollere rotorens samlede aksialkraft. Denne beskrevne sykliske pitchreguleringen kan og brukes for aktivt å styre rotoren 2 slik at deler av, eller eventuelt hele vindkraftverket i tilfelle et flytende anlegg, kan holdes i ønsket posisjon i forhold til vindretningen. Dermed kan man eliminere eller redusere størrelse eller antall av motorene som etter kjent teknikk dreier møllehuset 3, eller eventuelt hele tårnet 5 i det tilfelle møllehuset er dreiefast montert på tårnet for et flytende anlegg, i ønsket posisjon i forhold til vinden.

Videre reduseres skyvekraftvariasjonene i flapretningen (normalt tilnærmet lik vindretningen) på hvert enkelt blad (som tilsammen utgjør rotorens aksialkraft) ved å endre pitchvinkel i henhold til den ovenfor beskrevne fremgangsmåte for å kontrollere bladets momentane skyvekraft i vindretningen.

Bladet kan da styres individuelt i forhold til posisjon i sin omløpsbane og målte verdier av vindhastighetene i forskjellige posisjoner i eller rundt rotorens omsvepningsareal.

Den målte eller beregnede aksialkraft vil bli registrert og tatt med i pitch kontrollerenheten for beregning av optimal pitch vinkel til enhver tid i henhold til den beskrevne fremgangsmåte.

Istedenfor å bare benytte målt vindhastighet og bladene's pitch vinkel for å beregne rotorens aksial kraft kan en eller flere andre direkte eller indirekte metoder også benyttes.

Ved at bladene 13 monteres bakoverlent i pitchlageret 10, dvs bladenes lengdeakse 14 avviker noe fra pitchlagerets akslingsakse slik at bladenes lengdeakse 14 ikke krysser rotorens rotasjonsakse 11 og pitchmomentet som da oppstår kan måles via hydraulisk trykk via bladenes pitch control system og aksialkraften i hvert enkelt blad kan så beregnes eller;

Ved å benytte strekklapper på bladene 13 og/eller på rotorens hovedaksling og/eller på andre deler av vindkraftverket eller;

Indirekte ved å måle blad(enes) 13 pitch vinkler og rotorens 2 dreiemoment direkte eller ved å registrere andre parametre som generatorens dreiemoment, effekt etc og deretter kan rotorens korresponderende aksialkraft beregnes.

Ved å måle utbøyning av bladene ved hjelp av mekanisk eller elektronisk målesystem.



### Patentkrav

(1) Fremgangsmåte for vindkraftverk med pitch regulering av rotorbladene for å kontrollere inngående effekt på generator **karakterisert ved at** rotorbladenes pitch vinkel og/eller rotorens rotasjonshastighet blir regulert på en slik måte at rotorbladenes (3) enkelte eller samlede beregnede og/eller målte kraftvariasjoner i bladenes tverretning parallellt med rotorens rotasjonsakse (11) blir tatt hensyn til i pitch kontroll algoritmen og/eller at rotorbladenes individuelle pitch vinkel blir variert syklisk på en slik måte at den aksielle kraften på rotoren blir større på den ene eller andre siden av rotorens vertikale akse etter behov.

(2) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at** rotorbladenes individuelle eller ko-ordinerte pitch vinkel (vinkler) blir regulert slik at rotorens aksialkraftvariasjoner blir redusert i forhold til å bare regulere mot minst mulig effekt variasjoner.

(3) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at** rotorbladenes individuelle eller ko-ordinerte pitch vinkel (vinkler) blir regulert slik at innenfor et gitt eller omtrentlig gjennomsnittlig vindhastighetsintervall blir rotorens effekt regulert slik at rotorens effektbåndvidde holdes innenfor en minimums og maksimumsgrense og at innenfor denne effektbåndvidden blir rotorbladenes pitch vinkel og/eller rotorens rotasjonshastighet optimalisert for minst mulig rotor aksialkraftvariasjoner og/eller for aksialkraftvariasjoner i motfase med tårnets svigninger.

(4) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at** rotorbladenes individuelle eller ko-ordinerte pitch vinkel (vinkler) blir regulert slik at rotorens aksialkraft forsøkes å holdes innenfor en gitt eksakt eller omtrentlig øvre og nedre håndbredde for et gitt utjevnet eller gjennomsnittlig vindhastighetsintervall målt over en lengre periode enn oppdateringsperioden av pitch reguleringen, hvor den utjevnete eller gjennomsnittlige aktuelle vindhastighet er basert på direkte vindhastighetsmålinger og/eller indirekte målinger via kombinasjoner av en eller flere av andre parametre som f.eks. generator informasjon eller avlesninger, effekt, pitchvinkler, rotasjonshastigheter, vinkler, dreiemomenter, krefter, spenninger, forskyvninger, tøyninger eller andre metoder, og/eller at rotorens aksialkraft innenfor denne beskrevne båndbredden forsøkes å holdes helt eller delvis i motfase med tårnets svigninger.

(5) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at** rotorens aksielle kraftvariasjon for forskjellige jevnede eller gjennomsnittlige vindhastighetsområder prøves holdes innenfor gitte bestemte eller omtrentlige minimums og maksimum aksialkraftverdier og at disse minimums og maksimumsverdiene justeres for forskjellige jevnede eller gjennomsnittlige spesifikke vindhastighetsområder for optimal operasjon i forhold til generatoreffekt over hele vindspekteret fra typisk 5 m/s til 25 m/s.

(6) Fremgangsmåte i henhold til krav (5) **karakterisert ved at** minimumsverdi av aksialkraften velges utifra korttids effektkapasiteter til gear og/eller generator som er over den maksimale merkeeffekt eller gjennomsnittlige maksimumseffekt for disse komponentene.

(7) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at den aksiale kraft fra rotoren etter behov blir redusert ved å redusere rotorens turtall eller øket ved å øke rotorens turtall.**

(8) Fremgangsmåte i henhold til krav (7) **karakterisert ved at rotorens turtall blir redusert eller øket ved å regulere pitch vinkel til rotorbladene og/eller generatorens dreiemotstandsmoment og/eller rotorbremsen.**

(9) Fremgangsmåte i henhold til krav (5) **karakterisert ved at den omtrentlige øvre nevnte maksimum aksialkraftverdi blir satt slik at tilsvarende momentane effekt fra rotor blir lavere enn den nominelle effekt fra rotor.**

(9) Fremgangsmåte i henhold til krav (5) **karakterisert ved at de gitte bestemte eller omtrentlige minimums og maksimums rotor aksialkraftverdiene for de forskjellige jevnede eller gjennomsnittlige spesifikke vindhastighetsområder blir valgt slik at gjennomsnittlig produsert generatoreffekt blir lik eller nær den nominelle generator effekt (merkeeffekt) eller innenfor +/- 10% av vindkraftverkets nominelle effekt..**

(10) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at rotor aksialkraft innenfor et vindhastighetsområde aktivt varieres innenfor en korresponderende gitt generatoreffekt båndbredde slik at tårnets bevegelser dempes eller motvirkes på en slik måte at utmatningslastene på tårn og/eller rotorblad blir redusert.**

(11) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) **karakterisert ved at rotorbladenes individuelle kraft i vindretningen blir styrt slik at eventuelle dreiemomenter som prøver å vri rotor og/eller nacell og/eller tårn ut av vinden blir redusert eller eliminert ved å syklisk endre bladenes pitch vinkel avhengig av fysisk posisjon av bladene til enhver tid slik at den aksiale kraften på rotoren blir større på den ene eller andre siden av rotorens vertikale akse etter behov, og/eller hvor denne sykliske pitchreguleringen brukes for aktivt å styre rotoren (2) slik at deler av, eller eventuelt hele vindkraftverket i tilfelle et flytende anlegg, kan holdes i ønsket posisjon i forhold til vindretningen.**

(12) Fremgangsmåte i henhold til krav (10) **karakterisert ved at den momentane posisjon og/eller hastighet og/eller aksellerasjon og/eller vinkel et eller flere steder på vindkraftverket blir registrert ved aksellerometer og/eller vinkelmåler eller annet egnet måleinstrument.**

(13) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) og/eller (5) **karakterisert ved at rotorbladenes individuelle eller ko-ordinerte pitch vinkel (vinkler) blir regulert slik at hvert blads aksialkraft forsøkes å holdes innenfor en gitt eksakt eller omtrentlig øvre og nedre båndbredde etterhvert som bladet roterer rundt i rotasjonshulen.**

(14) Fremgangsmåte i henhold til krav (5) og/eller (13) **karakterisert ved at den momentane aksialkraft for en nedvindsmontert rotor beregnes på grunnlag av vindmålinger på ett eller flere steder oppvinds rotoren og/eller at tidsforskjellen på grunn av at vinden da treffer vindmålerne før den treffer rotoren brukes til å predikere vindhastigheten i rotoren og/eller for hvert enkelt blad i sin bane slik at bladene kan dreies (pitches) proaktivt eller i virkelig tid eller med en mindre forsinkelse for å minimere aksialkraftvariasjonene og utmatningsbelastningene.**



51864201

13

(15) Fremgangsmåte i henhold til krav (1) karakterisert ved at rotorens momentane aksialkraft blir registrert;

Ved at bladene monteres bakoverlent i pitchlageret, dvs bladenes lengdeakse avviker noe fra pitchlagerets akslingsakse slik at bladenes lengdeakse ikke krysser rotorens rotasjonsakse og pitch moment som da oppstår kan måles via hydraulisk trykk via bladenes pitch control system og aksialkraften kan så beregnes eller;

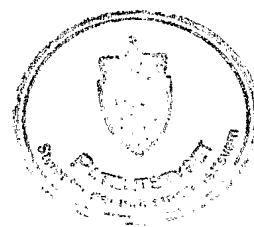
Ved å benytte strekkklapper på blader og/eller på rotorens hovedaksling og/eller på andre deler av vindkraftverket eller;

Indirekte ved å måle vindhastighet og deretter beregne rotorens aksialkraft eller;

Indirekte ved å måle vindhastighet og blad(enes) pitchvinkler og deretter beregne rotorens aksialkraft eller;

Indirekte ved å måle blad(enes) pitch vinkler og rotorens dreiemoment direkte eller ved å registrere andre parametre som generatorens dreiemoment, effekt etc og deretter kan rotorens korresponderende aksialkraft beregnes.

Ved å måle utbøyning av bladene ved hjelp av mekanisk eller elektronisk målesystem.



Oppsummering

Fremgangsmåte som kontinuerlig reduserer variasjonene av rotores aksialkraft og dermed reduserer utmatningslastene på rotorblader og tårn samtidig som den resulterende effekt inn på generatoren ikke blir vesentlig påvirket eller blir holdt innenfor akseptable grenser i forhold til begrensninger på drivverk, generator og elektrisk nett. Fremgangsmåte for å bruke rotores aksialkraft til aktivt å motvirke et flytende vindkraftsverk's bevegelser. Videre beskriver fremgangsmåten hvordan rotasjonskrefter om tårnets (4) vertikalakse (12) kontrolleres og motvirkes ved syklisk variasjon av pitchvinkler og tilhørende krefter på de enkelte rotorblad. Fremgangsmåten beskriver også hvordan den aerodynamiske kraftvariasjonen på hvert enkelt blad som følge av ulike vindhastigheter i ulik høyde (vertikalt vindskjær) og i horisontal retningen parallelt med rotor planet (horisontalt vindskjær) kan reduseres.



51864201

2004-03-22

1/3

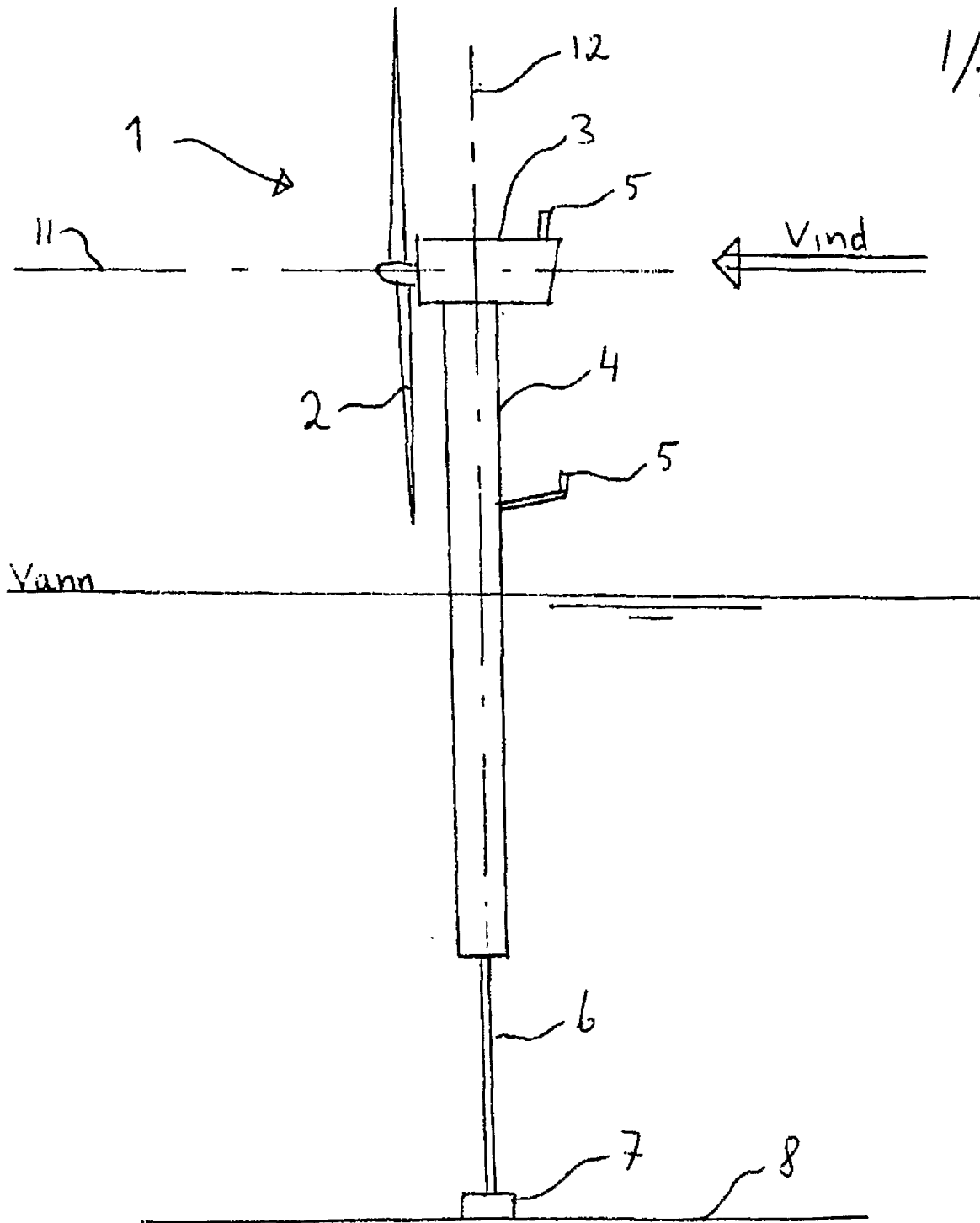


Fig. 1



2/3

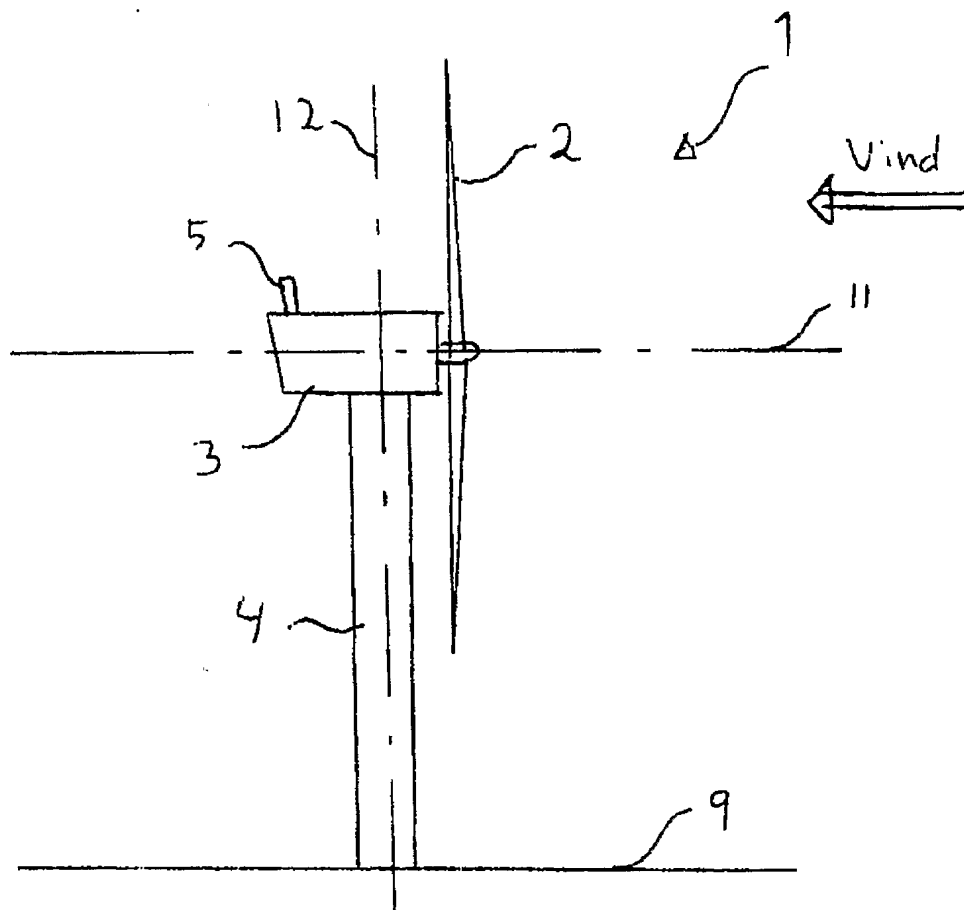


Fig. 2



51864201

3/3

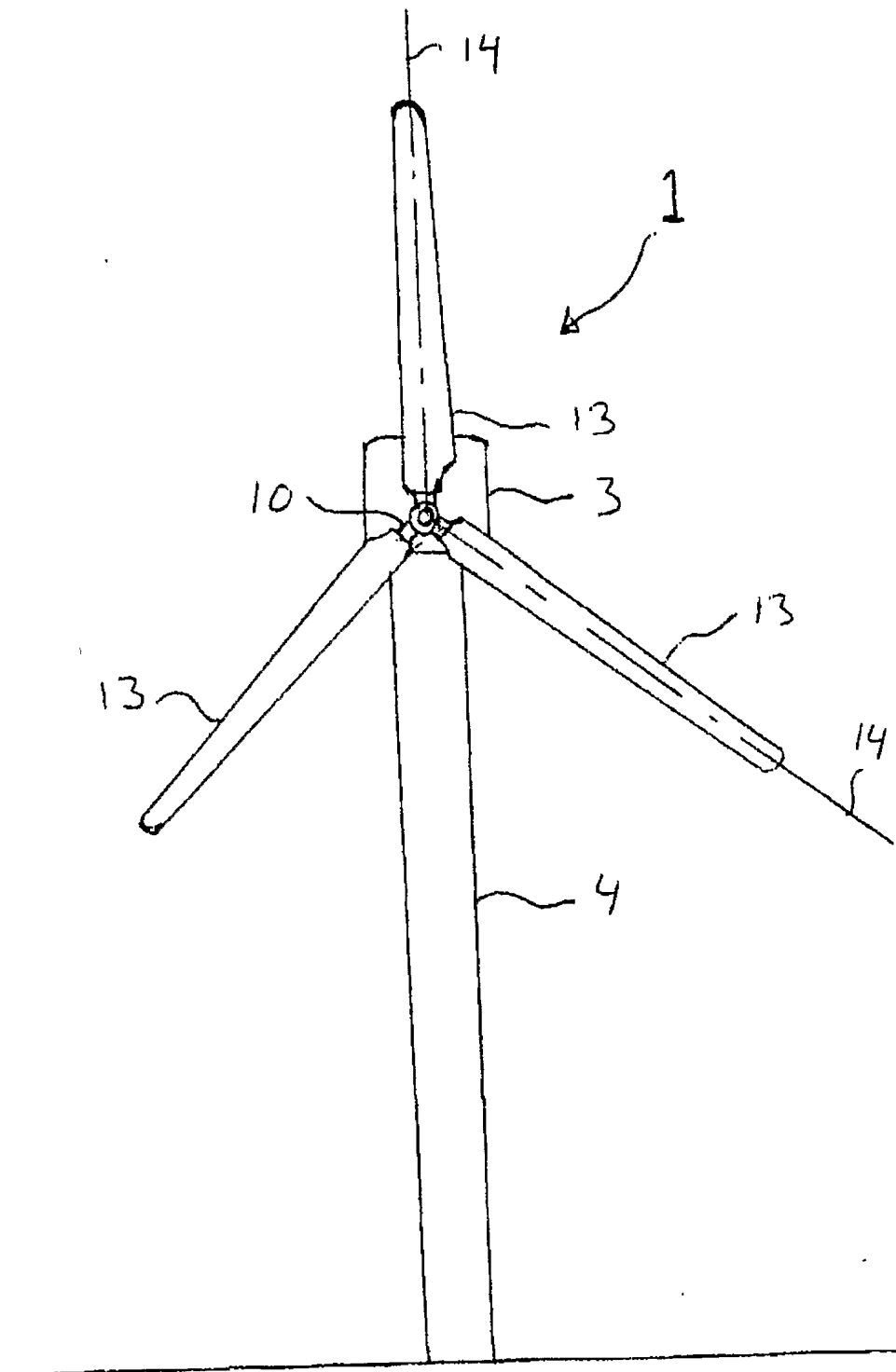


Fig. 3

